

## การศึกษาปัญหาของการวัดความต้านทานการต่อลงดินในระบบประธานโดยใช้ชุดทดสอบ การต่อลงดินแบบแคลมป์

### A STUDY OF THE PROBLEM FOR GROUNDING RESISTANCE MEASUREMENT IN MAIN DISTRIBUTION SYSTEM USING CLAMP-ON GROUND TESTER

ชาญณรงค์ พงศ์รักรธรรม<sup>1\*</sup> และศุภกิตต์ โชติโก<sup>2</sup>

Channarong Phongraktham<sup>1\*</sup> and Supakit Chotigo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>1</sup> Student, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

<sup>2</sup> Assistant Professor Dr., Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

\* Corresponding author, E-mail: blb\_forever@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวัดความต้านทานการต่อลงดินด้วยวิธี Clamp-On เนื่องจากการวัดความต้านทานการต่อลงดินโดยทั่วไปใช้วิธี Fall-of-Potential ซึ่งต้องใช้โอห์มมิเตอร์ช่วยและพื้นที่ในการทดสอบ รวมทั้งต้องตัดระบบการต่อลงดินออกจากระบบไฟฟ้าก่อนทำการทดสอบ ในบางพื้นที่จึงยากที่จะใช้วิธีนี้ ข้อดีของการใช้วิธี Clamp-On คือ ไม่ต้องตัดระบบการต่อลงดินออกจากระบบไฟฟ้า ไม่ต้องใช้อิเล็กโตรดช่วยและพื้นที่ในการทดสอบน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามวิธี Clamp-On สามารถใช้ได้ถูกต้องก็ต่อเมื่อระบบการต่อลงดินที่ทำการวัดมีลักษณะครบรูป หรือมีแท่งหลักดินมากกว่าหนึ่งชุดและต่อขนานกัน ดังนั้นจึงได้ศึกษาระบบการต่อลงดินของหม้อแปลงไฟฟ้า และ MDB จำนวน 15 ระบบ เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าติดตั้งนอกอาคาร เมื่อทำการวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินแต่ละระบบด้วย Clamp-On Ground Resistance tester พบว่า การต่อลงดินของก๊อบดักฟ้าผ่าและตัวถังหม้อแปลงส่วนใหญ่อุปกรณ์แสดงค่าเป็น OL (Overload) เนื่องจากมีการต่อลงดินเพียงจุดเดียว ส่วนการต่อลงดินของ MDB สามารถอ่านค่าได้ชัดเจนเนื่องจากมีหรือการต่อลงดินมากกว่าหนึ่งจุดและต่อขนานกัน คือ การต่อลงดินของ MDB และนิวทรัลหม้อแปลง

**คำสำคัญ:** การต่อลงดิน การวัดความต้านทานการต่อลงดิน วิธีแคลมป์

## Abstract

This research presents the grounding resistance measurement using Clamp-On method. Since the Fall-of-Potential method needs auxiliary electrode, test area and offline electrical system so it is difficult to achieve that condition in practice. The advantage of the Clamp-On method is that it can measure the grounding resistance without shutting down the electrical system. However, the Clamp-On method limitation is that the grounding system under test must have return loops, or the ground rod has more than one point connected in parallel. Therefore, this paper studied and tested 15 grounding systems of transformer and main distribution board (MDB) with clamp-on ground resistance tester. They were all oil-type transformers. The results showed that the clamp-On meter display showed “OL” (Overload) for the grounding of lightning arrester and transformer tank. However, for the grounding of MDB, the grounding resistance can be measured correctly using clamp-on meter because the grounding has more than one point and connected in parallel between grounding of MDB and neutral transformer.

**Keywords:** Grounding, Grounding Resistance Measurement, Clamp-On method.

## บทนำ

ระบบการต่อลงดินหรือรากสายดินมีหน้าที่เบี่ยงเบนให้สัญญาณที่ไม่พึงประสงค์ เช่น สัญญาณรบกวน (Noise) รวมถึง กำลังไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Surge) ไหลลงสู่ดิน เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า (สำรวจ สังข์สะอาด, 2549) นอกจากนี้ยังทำให้แรงดันเทียบกับดินมีค่าคงตัว ในขณะที่ระบบไฟฟ้าทำงานปกติ เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินขึ้นจะช่วยให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงานได้รวดเร็วขึ้น ศักยภาพในการทำงานของระบบกราวด์ จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของการต่อลงดิน การต่อลงดินจึงควรมีความต้านทานน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย (สุรพล ดำรงเกียรติกุล และคณะ, 2554) กำหนดให้ค่าความต้านทานของการต่อลงดินหรือระหว่างหลักดินกับดิน ต้องไม่เกิน 5 โอห์ม ดังนั้นการวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินจึงมีความจำเป็นในการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

การวัดค่าความต้านทานของการต่อลงดินมีหลายวิธี ซึ่งวิธีการใช้งานก็จะแตกต่างกัน วิธีที่ใช้กันทั่วไปคือ วิธีวัดแบบ 3 จุด (The Three-point or Fall of Potential) (Haddad, A., Warne, D.F., 2007, Kenneth, M. Michaels., 1995) แต่วิธีนี้ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งอิเล็กโทรดช่วยเพื่อทดสอบ โดยมีระยะห่างจากแท่งหลักดินอย่างน้อย 25 เมตร ที่ความลึกของแท่งหลักดิน 2 เมตร (สุรพล ดำรงเกียรติกุล

และคณะ, 2554) และต้องมีการปลดระบบการต่อลงดินออกจากระบบไฟฟ้าก่อนทำการทดสอบในบางพื้นที่ซึ่งยากที่จะใช้วิธีนี้

การวัดค่าความต้านทานการต่อลงดินด้วยวิธี Clamp-On ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่ต้องใช้อิเล็กโตรดช่วยและพื้นที่ในการทดสอบน้อยกว่าวิธี Fall-of-Potential และสามารถวัดความต้านทานระบบการต่อลงดินโดยไม่ต้องปลดออกจากระบบไฟฟ้า แต่มีข้อจำกัดคือระบบการต่อลงดินที่ทำการวัดต้องมีลักษณะการต่อลงดินมากกว่าหนึ่งจุดและต่อขนานกัน (IEEE Std. 81-2012, 2012, Paul Gill, 2009)

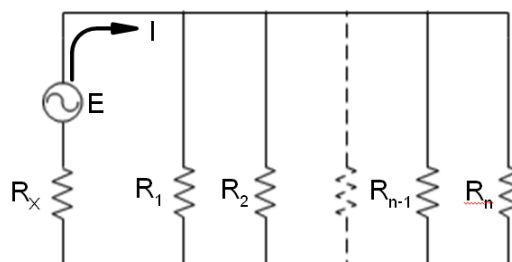
จากข้อจำกัดดังกล่าวของวิธี Fall-of-Potential ซึ่งไม่สามารถใช้ได้กับงานบำรุงรักษาหม้อแปลงและระบบประธานภายในในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เนื่องจากไม่มีพื้นที่เอื้ออำนวยต่อติดตั้งอิเล็กโตรดช่วย และไม่สามารถตัดระบบการต่อลงดินออกจากระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงได้ใช้วิธี Clamp-On วัดความต้านทานการต่อลงดินของระบบประธาน ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และไม่ต้องใช้พื้นที่ติดตั้งอิเล็กโตรดช่วยในการทดสอบ

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจสอบความบกพร่องการต่อลงดินของกับดักฟ้าผ่าตัวถังหม้อแปลงและ MDB หรือ ระบบประธานในงานบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รวมทั้งเพื่อศึกษาวิธีการวัดความต้านทานระบบการต่อลงดินของระบบประธานในพื้นที่จำกัดด้วยวิธี Clamp-On ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการวัดความต้านทานการต่อลงดินด้วยวิธีดังกล่าวในระบบประธานและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัด

### แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

โดยปกติจุดต่อร่วมกันของการต่อลงดินในระบบจำหน่ายสามารถจำลองเป็นวงจรสมมูลดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 วงจรสมมูลของการต่อลงดินในระบบจำหน่าย

ถ้าแรงดัน  $E$  ถูกเหนี่ยวนำด้วยความถี่ที่ต่างกับความถี่ของระบบ (Liwei Li, Jiyan Zou, Hui Sun., 2006) ไปยังแท่งหลักดิน  $R_x$  ใด ๆ ผ่านหม้อแปลงชนิดพิเศษ กระแส  $I$  จะไหลผ่านวงจร ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{E}{I} = R_x + \frac{1}{\sum_{k=1}^n (1/R_k)} \quad (1)$$

กระแส  $I$  ที่ไหลในวงจรถูกตรวจวัดด้วยหม้อแปลงกระแส (CT) ดังนั้น  $E/I = R_x$

จากหลักการดังกล่าวเป็นการวัดความต้านทานการต่อลงดินของ  $R_x$  หรือ จุดต่อลงดินใด ๆ ที่ต้องการรู้ค่า ภายใต้สมมติฐานที่ว่าความต้านทานของจุดต่อลงดินที่เหลือจำนวนมาก ( $R_1-R_n$ ) ขนานกัน และถูกประมาณค่าให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจากสมการ (1) ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความต้านทานการต่อลงดินที่แท้จริงของ  $R_x$  มากที่สุด

ดังนั้นหลักการดังกล่าว สามารถนำมาใช้วัดและประเมินค่าเบื้องต้นของความต้านทานระบบการต่อลงดินของระบบประธาน เนื่องจากมีส่วนของการต่อลงดินมากกว่าหนึ่งจุดและต่อถึงกันหรือขนานกัน ในกรณีที่มีการต่อลงดินมีเพียงสองจุดและขนานกัน ค่าที่วัดได้จะเป็นผลรวมของการต่อลงดินทั้งสองจุด และกรณีที่มีการต่อลงมากกว่าสองจุดและขนานกัน ค่าที่วัดได้จะเป็นผลรวมระหว่างความต้านทานของจุดต่อลงดินที่ทำการวัดกับความต้านทานของจุดต่อลงดินที่เหลือขนานกัน

### วิธีดำเนินการวิจัย

เริ่มจากการศึกษาการต่อลงดินของระบบประธานและทดลองวัดความต้านทานการต่อลงดินด้วย Clamp-On Ground Resistance tester ทั้งหมด 15 ระบบ ซึ่งแต่ละระบบจะทำการวัดค่าความต้านทานการต่อลงดิน 3 จุด หลัก ๆ คือการต่อลงดินของก๊อบดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester) ตัวถึงหม้อแปลง และ MDB จากนั้นนำผลที่ได้จากการวัดในแต่ละจุดมาวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมกับการวัดความต้านทานการต่อลงดินด้วยวิธี Clamp-On

### ผลการวิจัย

จากการทดลองวัดความต้านทานการต่อลงดินที่จุดต่าง ๆ ของแต่ละระบบด้วยวิธี Clamp-On ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการวัดความต้านทานการต่อลงดินแต่ละจุดของระบบประธานในแต่ละอาคารด้วยวิธี Clamp-On

อาคาร	ตำแหน่งการวัด ( $\Omega$ )			
	กัปดาห์ผ่า	ตัวถังหม้อแปลง	MDB1	MDB2
1	OL		5.324	1.855
2	2.169		3.565	0.907
3	113.6		0.304	1.996
4	529.1		8.110	N/A
5	1176		2.567	N/A
6	N/A	2.773	1.461	N/A
7	N/A	1.440	3.013	N/A
8	N/A	OL	9.354	N/A
9	OL	OL	0.513	N/A
10	OL	OL	1.642	N/A
11	OL	77.88	1.021	N/A
12	OL	80.00	0.941	N/A
13	OL	14.92	1.408	N/A
14	N/A	14.43	0.511	N/A
15	N/A	1.063	0.999	N/A

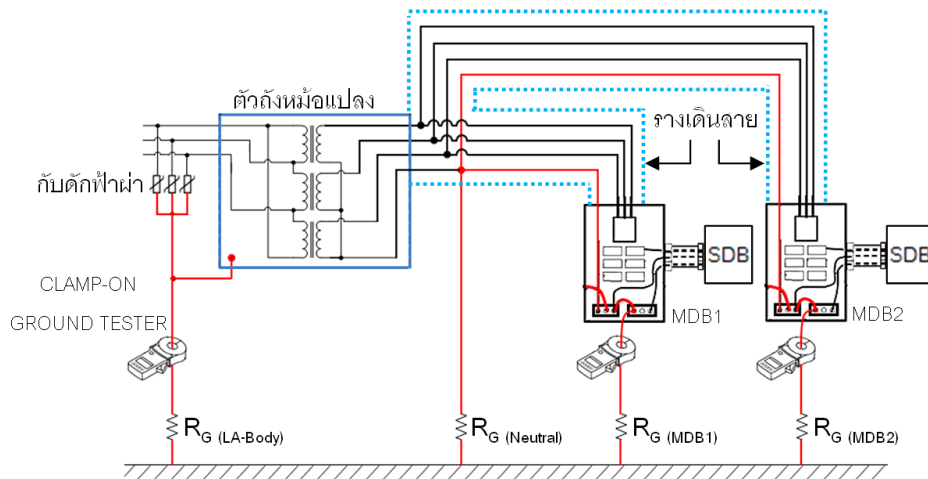
**หมายเหตุ:** อาคารที่ 1-5 ดักฟ้าผ่าและตัวถังหม้อต่อลงดินที่จุดเดียวกันหรือใช้แท่งหลักดินร่วมกัน  
 N/A (Not Available) หมายถึง ไม่มีจุดวัด

จากการศึกษาลักษณะของระบบประธานที่มีผลต่อการวัดความต้านทานด้วยวิธี Clamp-On จำนวน 15 ระบบ สามารถแบ่งเป็นลักษณะได้ตามหัวข้อที่ 1-4 โดยใช้สัญลักษณ์แทนความต้านทานการต่อลงดินแต่ละจุด คือ กัปดาห์ผ่า ( $R_G (LA)$ ), ตัวถังหม้อแปลง ( $R_G (Body)$ ), ตัวถังหม้อแปลงและกัปดาห์ผ่าต่อลงดินร่วมกัน ( $R_G (LA-Body)$ ), นิวทรัลของหม้อแปลง ( $R_G (Neutral)$ ), การต่อลงดินของ MDB ( $R_G (MDB)$ ) และการต่อลงดินของคอนกรีตรองตัวถังหม้อแปลง ( $R_G (Concrete)$ )

1. ระบบประธานที่ตัวถังหม้อแปลงวางบนคานและมีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB

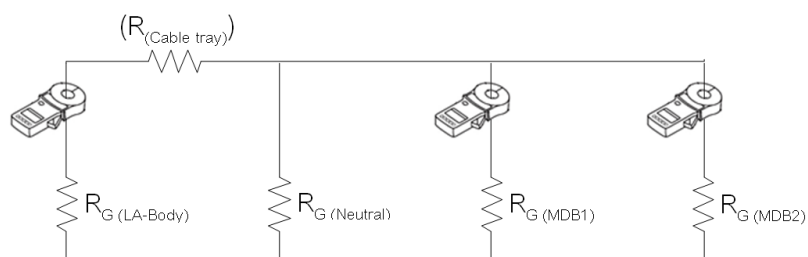
ระบบดังกล่าวมีการต่อลงดินทั้งหมด 4 จุด คือ ตัวถังหม้อแปลงที่ต่อลงดินร่วมกับกั

ดักฟ้าผ่า ( $R_G (LA-Body)$ ) นิวทรัลหม้อแปลง ( $R_G (Neutral)$ ) MDB1 ( $R_G (MDB1)$ ) และ MDB2 ( $R_G (MDB2)$ ) โดยที่ MDB1 และ MDB2 แยกกันจ่ายไฟให้กับอาคารย่อยแต่ละชุด แต่รับกำลังไฟฟ้าจากหม้อแปลงชุดเดียวกัน จึงต้องมีการต่อลงดินแยกกัน มีรางเดินสาย (Cable tray) ที่เป็นโลหะเชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้าระหว่าง ตัวถังหม้อแปลงและตู้ MDB การต่อลงดินของนิวทรัลหม้อแปลง MDB1 และ MDB2 ขนานกันด้วยตัวนำ นิวทรัลและสายต่อฝากภายในตู้ MDB ซึ่งมีลักษณะแสดงภาพประกอบที่ 2



**ภาพประกอบที่ 2** ลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงมีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB

จากภาพประกอบที่ 2 สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังภาพประกอบที่ 3 โดยให้ ( $R_{(Cable\ tray)}$ ) แทนความต้านทานของรางเดินสาย



**ภาพประกอบที่ 3** วงจรสมมูลลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงมีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB



จากตารางที่ 1 อาคารดังกล่าวได้แก่อาคาร 1-7 โดยอาคาร 4-7 มี MDB เพียงชุดเดียว อาคาร 6 และ 7 มีการต่อลงดินเฉพาะตัวถังหม้อแปลง (ไม่มีกับดักฟ้าผ่า) เมื่อวัดความต้านทานจุดต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงทั้ง 7 อาคาร จะได้ค่าความต้านทาน 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

ค่า OL คืออาคาร 1 หมายถึง ความต้านทานมีค่าสูงเกินที่เครื่องวัดกำหนด (มากกว่า 1510  $\Omega$ ) เกิดจากสาเหตุ เช่น ตัวนำต่อลงดินขาดออกจากแท่งหลักดินหรือความต้านทานของรางเดินสายมีค่าสูงมาก ดังนั้นเครื่องวัดไม่สามารถจ่ายแรงดันผ่านไปยังการต่อลงดินที่จุดอื่น เช่น MDB1 MDB2 และ นิวทรัลหม้อแปลง เพื่อวนรูปกลับมาคำนวณได้

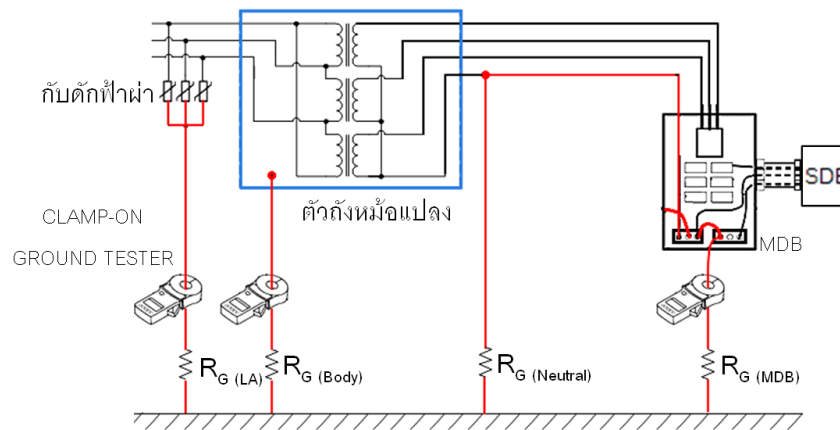
ค่าความต้านทานสูง คืออาคาร 3,4 และ 5 เกิดจากสาเหตุ เช่น ความผิดปกติในการต่อ ลงดินของจุดที่วัดหรือความต้านทานของรางเดินสายที่เป็นส่วนเชื่อมต่อทางไฟฟ้าจากการต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงไปยังการต่อลงดินที่จุดอื่นมีค่าสูง

ค่าความต้านทานต่ำ คือ อาคาร 2, 6 และ 7 สำหรับอาคาร 2 เนื่องจากมีรางเดินสายเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างตัวถังหม้อแปลงและการต่อลงดินที่จุดอื่นมีความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีและมีค่าความต้านทานต่ำจึงทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นค่าความต้านทานการต่อลงดินของตัวหม้อแปลงรวมกับความต้านทานการต่อลงดินของ MDB1 MDB2 และนิวทรัลหม้อแปลงขนานกัน ส่วนอาคาร 6 และ 7 เนื่องจากอาคารนี้ตัวถังหม้อแปลงและตู้ MDB วางอยู่บนคานที่เป็นโลหะจึงเป็นการต่อถึงกันทางไฟฟ้าเป็นอย่างดี ค่าความต้านทานที่วัดได้คือ ความต้านทานการต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงรวมกับความต้านทานการต่อลงดินของ MDB1และนิวทรัลหม้อแปลงขนานกัน

เมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของ MDB สำหรับอาคาร 1-7 ค่าความต้านทานที่อ่านได้จากเครื่องวัดคือค่าความต้านทานการต่อลงดินของจุดที่วัดรวมกับความต้านทานการต่อลงดินของจุดที่เหลือขนานกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการวัดความต้านทานการต่อลงดินด้วยวิธี Clamp-On

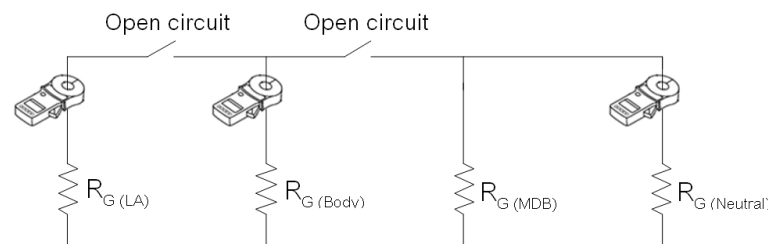
## 2. ระบบประธานที่ตัวถังหม้อแปลงวางบนคานไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของMDB

ระบบดังกล่าวมีการต่อลงดินทั้งหมด 4 จุด คือ กับดักฟ้าผ่า ( $R_G (LA)$ ) ซึ่งต่อลงดินแยกกันกับตัวถังหม้อแปลง ( $R_G (Body)$ ) นิวทรัลหม้อแปลง ( $R_G (Neutral)$ ) และ MDB ( $R_G (MDB)$ ) โดยการต่อลงดินของนิวทรัลหม้อแปลง และ MDB ขนานกันด้วยตัวนำนิวทรัลและสายต่อฝากภายในตู้ MDB ระบบดังกล่าวมีลักษณะแสดงภาพประกอบที่ 4



**ภาพประกอบที่ 4** ลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB

จากภาพประกอบที่ 4 สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังภาพประกอบที่ 5 โดยให้กั้มดักฟ้าผ่าซึ่งในสภาวะปกติจะมีสถานะเปิดวงจร (Open circuit) และตัวถังหม้อแปลงไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้าหรือขนานกับการต่อลงดินที่จุดอื่น



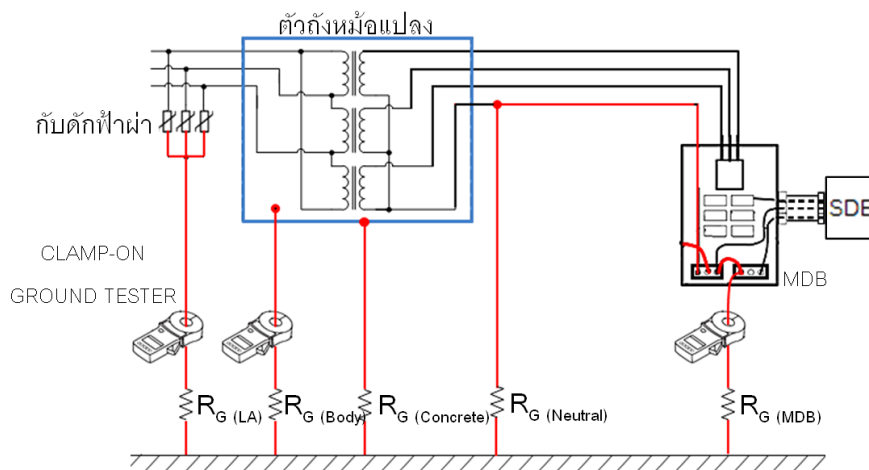
**ภาพประกอบที่ 5** วงจรสมมูลลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB

จากตารางที่ 1 อาคารดังกล่าวได้แก่อาคาร 8,9 และ 10 มี MDB เพียงชุดเดียว เมื่อวัดความต้านทานจุดต่อลงดินของกั้มดักฟ้าผ่าและตัวถังหม้อแปลงเครื่องมีวัดแสดงค่า OL เนื่องจากจุดต่อลงดินแต่ละจุดที่ทำการวัดไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินจุดอื่น ๆ ดังนั้น เครื่องวัดไม่สามารถจ่ายแรงดันผ่านไปยังการต่อลงดินที่จุดอื่นเพื่อวนลูกลับมาคำนวณได้

เมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของ MDB ค่าความต้านทานที่อ่านได้จากเครื่องวัดคือค่าความต้านทานการต่อลงดินของ MDB รวมกับความต้านทานการต่อลงดินของนิวทรัลหม้อแปลง เนื่องจากมีการต่อลงดินเพียงสองจุดที่ต่อถึงกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการวัดความต้านทานการต่อลงดินด้วยวิธี Clamp-On

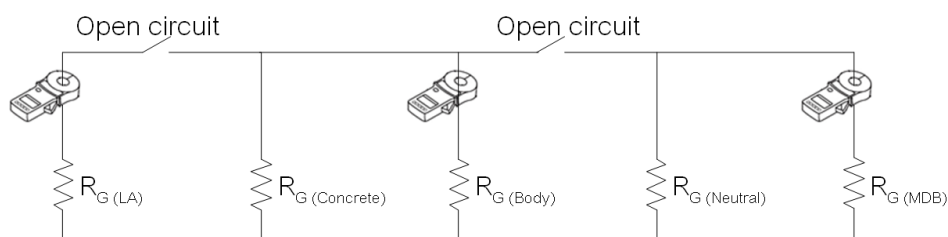


3. ระบบประธานที่ตัวถังหม้อแปลงวางบนพื้นและไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB ระบบดังกล่าวมีการต่อลงดินอย่างตั้งใจทั้งหมด 4 จุด คือ กับดีกฟ้าผ่า ( $R_G (LA)$ ) ซึ่งต่อลงดินแยกกันกับตัวถังหม้อแปลง ( $R_G (Body)$ ) นิวทรัลหม้อแปลง ( $R_G (Neutral)$ ) และ MDB ( $R_G (MDB)$ ) แต่การที่ตัวถังหม้อแปลงวางอยู่บนพื้นคอนกรีตซึ่งฝังอยู่ในดินระดับหนึ่ง จึงเป็นอีกจุดที่มีการต่อลงดินโดยไม่ตั้งใจ ( $R_G (Concrete)$ ) และมีความต้านทานค่อนข้างสูงเนื่องจากความลึกอยู่ในระดับผิวดิน ลักษณะการต่อลงดินของระบบดังกล่าวแสดงดังภาพประกอบที่ 6



ภาพประกอบที่ 6 ลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงวางบนพื้นและไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB

จากภาพประกอบที่ 6 สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังภาพประกอบที่ 7 โดยให้  $R_G (Concrete)$  แทนความต้านทานการต่อลงดินของพื้นคอนกรีตที่เป็นฐานรองหม้อแปลง



ภาพประกอบที่ 7 วงจรสมมูลลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงวางบนพื้นและไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินของ MDB

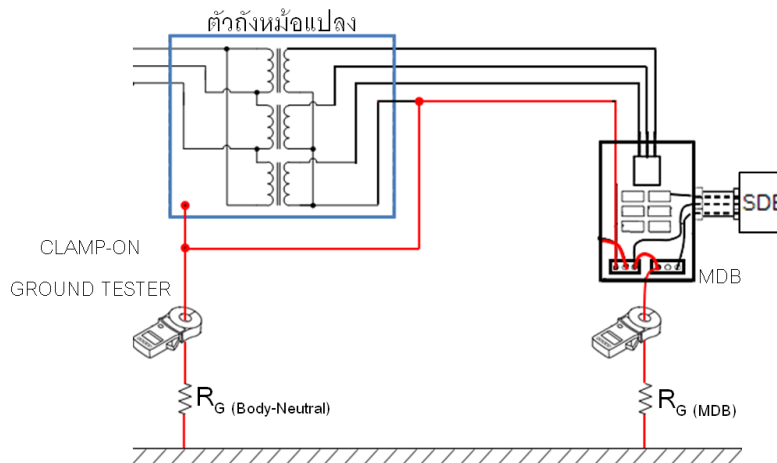
จากตารางที่ 1 อาคารดังกล่าวได้แก่อาคาร 11, 12, 13 และ 14 เมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของกับดีกฟ้าผ่าเครื่องมือวัดแสดงค่า OL เนื่องจากจุดต่อลงดินดังกล่าวไม่มีส่วนต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินจุดอื่น ๆ

เมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงจะได้ค่าที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากค่าที่อ่านได้เป็นความต้านทานการต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงรวมกับความต้านทานการต่อลงดินของพื้นคอนกรีตที่เป็นฐานรองหม้อแปลง

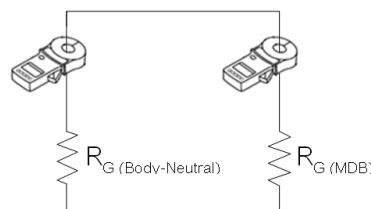
เมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของ MDB ค่าความต้านทานที่อ่านได้จากเครื่องวัดคือค่าความต้านทานการต่อลงดินของ MDB รวมกับความต้านทานการต่อลงดินของนิวทรัล หม้อแปลง เนื่องจากการต่อลงดินเพียงสองจุดที่ต่อถึงกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการวัดความต้านทานการต่อลงดินด้วยวิธี Clamp-On

4. ระบบประธานที่ตัวถังหม้อแปลงใช้แท่งหลักดินร่วมกับนิวทรัลหม้อแปลง

ระบบดังกล่าวมีการต่อลงดิน 2 จุด คือ ตัวถังหม้อแปลงซึ่งต่อลงดินร่วมกับนิวทรัลหม้อแปลง ( $R_G$  (Body-Neutral)) และการต่อลงดินของ MDB ( $R_G$  (MDB)) โดยจุดต่อลงดินทั้งสองถูกเชื่อมต่อถึงกันด้วยตัวนำ นิวทรัลและสายต่อฝากภายในตู้ MDB มีลักษณะแสดงดังภาพประกอบที่ 8 และสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบที่ 8 ลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงต่อลงดินร่วมกับนิวทรัลหม้อแปลง



ภาพประกอบที่ 9 วงจรสมมูลลักษณะการต่อลงดินที่ตัวถังหม้อแปลงต่อลงดินร่วมกับนิวทรัลหม้อแปลง



จากตารางที่ 1 อาคารดังกล่าวคืออาคาร 15 เมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลง ค่าที่ได้คือความต้านทานการต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงรวมกับความต้านทานการต่อลงดินของ MDB เนื่องจากการต่อลงดินมีเพียงสองจุดและต่อถึงกัน

เมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของ MDB ค่าที่ได้จะใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าที่ได้จากการวัดที่จุดต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลง เนื่องจากการต่อลงดินมีเพียงสองจุดเหมือนกัน

### สรุปผลการวิจัย

จากผลการวัดความต้านทานระบบการต่อลงดินของระบบประธานด้วยวิธี Clamp-On จำนวน 15 ระบบ สรุปได้ว่า วิธีนี้สามารถใช้ทดสอบและประเมินค่าเบื้องต้นของความต้านทานการต่อลงดินของระบบประธานที่มีการต่อลงดินมากกว่า 1 จุดและต่อถึงกันหรือขนานกันได้ เช่น การต่อลงดินของ MDB ซึ่งมีการต่อลงดินอย่างน้อย 2 จุด คือ MDB และนิวทรัลหม้อแปลง โดยถูกต่อถึงกันด้วยตัวนำนิวทรัลและสายต่อฝากระหว่างบัสนิวทรัลและกราวด์ภายในตู้ MDB

วิธี Clamp-On ไม่สามารถใช้วัดความต้านทานการต่อลงดินตัวถังหม้อแปลงและกับดักฟ้าผ่าได้ เนื่องจากจุดต่อลงดินดังกล่าวมีเพียงจุดเดียวและไม่ต่อถึงกันหรือขนานกับการต่อลงดินจุดอื่น ๆ บางครั้งเมื่อวัดความต้านทานที่จุดต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลงแล้วเครื่องวัดแสดงค่าออกมา แสดงว่าการต่อลงดินดังกล่าวมีการต่อถึงกันทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินที่จุดอื่น ๆ ควรตรวจสอบให้มั่นใจว่าค่าที่ได้เป็นค่าที่ถูกต้องของการต่อลงดินหรือไม่ เพราะอาจเป็นค่าที่รวมความต้านทานของส่วนที่ต่อถึงทางไฟฟ้ากับการต่อลงดินจุดอื่น ๆ เช่น รางเดินสาย หรือการต่อลงดินของพื้นคอนกรีตที่เป็นฐานรองหม้อแปลง เป็นต้น ซึ่งค่าความต้านทานที่อ่านได้อาจไม่ใช่ความต้านทานที่แท้จริงในการต่อลงดินของตัวถังหม้อแปลง

### เอกสารอ้างอิง

สุรพล ดำรงกิตติกุล และคณะ. (2554). *ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพ ด้านการออกแบบ ติดตั้ง*

*ตรวจสอบและทดสอบการต่อลงดิน* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สภาวิศวกร.

สำรวย สังข์สะอาด. (2549). *วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง* (พิมพ์ครั้งที่ 3). ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Haddad, A., Warne, D.F. (2007). *Advances in High Voltage Engineering* (2nd ed.).

United Kingdom, UK: MPG Book Limited.

IEEE Std. 81-2012. (2012). *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground*

*Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System* (Revision of

IEEE Std. 81-1983). New York, NY: USA.

Kenneth, M. Michaels. (1995). *Earth Ground Resistance Testing for Low-Voltage Power*

*Systems. IEEE Transactions on industry applications*, Vol. 31, No. 1.

Liwei Li, Jiyun Zou, Hui Sun. (2006). Research on the New Clamp-on Ground Resistance  
On-line Tester Based on AC Variable Frequency. *IEEE* 1-4244-0332-4/06.

Paul Gill. (2009). *Electrical power equipment maintenance and testing* (2nd ed.).  
New York, NY: United States of America on acid-free paper.